

# 蓄热技术及其应用

[奥地利] G.培克曼 P.V.吉利 著  
程祖虞 奚士光 译



机械工业出版社

## 序 言

本书论述了热能储存的基本原理和它在工业、采暖（包括热电联产）、平抑高峰负荷和车辆驱动等方面的应用，从而达到节能和替代燃油的目的。

近年来计划建设的和已经建成的蓄热系统大量增加，这是因为核电站、太阳能利用、新的容器制造工艺的应用有所增加，以及在发电、工业、家庭和车辆等方面有替代燃油的需要，故而使得热能储存的重要性相应地增加。

在此，我们十分感谢各公司的友好帮助，为我们编写本书提供了所需的图纸、照片资料和数据。

G. 培克曼和 P. V 吉利  
于维也纳和格拉茨，1983年12月

## 译 者 的 话

在历史上蓄热技术的应用可以追溯到很早以前，而它在工业上的应用则始于19世纪，到20世纪30年代在欧洲已广泛地采用了蓄热技术，主要用以节约能源。目前，欧洲在研究和应用蓄热技术方面仍处于领先地位。

现在我国对能源节约给以极大地重视。近年来，随着我国节能工作的广泛开展，蒸汽（或热水）蓄热技术已在节能、经济、环保、增产等方面愈来愈显示出它的综合效益。如蒸汽蓄热器已在各地工业锅炉房的供热系统中逐渐推广应用，但和工业先进的国家相比，无论在研究、设计、制造和推广应用方面都还存在着不小的差距。国内迄今尚未出版过较系统的蓄热技术方面的专著。有鉴于此，为促进我国蓄热技术的研究、设计与应用，我们翻译了这本有关蓄热技术问题的专著。

在我们所看到的国外几本蓄热技术著作中，本书在理论上分析阐述较深，在应用上汇集的示例面广量多，编写方法及层次安排较合理，是当前在蓄热技术方面一本有价值的专著。

本书内容丰富，阅后既可使人了解国外在蓄热技术方面的进展现状，又可使人广开思路，引导探索蓄热技术在我国各领域中的应用。

本书原名《热能的储存——基本原理、设计以及在电力生产和供热方面的应用》(Thermal Energy Storage——Bas-

ics-Design-Applications to Power Generation and Heat Supply), 是能源丛书之一, 该丛书的主编人为: M. 格林农 (M. Grenon), S. 史利乃华生 (S. Srinivasan), G. 伏依特 (G. Woite)。

本书原文中有些文句极其简炼, 内容上所涉及的专业面很广, 限于译者的水平和知识面, 在理解和翻译方面如有不妥之处, 欢迎读者指正。

本书第一至三章由奚士光翻译, 第四至八章由程祖虞翻译, 并由程祖虞负责总校订。

在翻译过程中承郭俊椿同志大力帮助, 特此致谢。

程祖虞 奚士光  
一九八六年十月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 引言 .....                | 1  |
| 1.1 蓄能的基本任务 .....           | 1  |
| 1.2 蓄能装置的经济参数 .....         | 3  |
| 1.3 优化 .....                | 7  |
| 1.3.1 单一能源转换装置的能源供应系统 ..... | 7  |
| 1.3.2 多能源的能源供应系统 .....      | 8  |
| 1.3.3 基本负荷厂的优化 .....        | 17 |
| 1.4 热能储存的历史 .....           | 22 |
| 第二章 基本原理 .....              | 30 |
| 2.1 分类 .....                | 30 |
| 2.2 在饱和液体中储存显热 .....        | 34 |
| 2.2.1 变压蓄能 .....            | 35 |
| 2.2.2 蒸汽储汽罐蓄能 .....         | 39 |
| 2.2.3 膨胀式蓄能 .....           | 42 |
| 2.2.4 间接的变压蓄能 .....         | 45 |
| 2.3 在加压的(过冷的)液体中储存显热 .....  | 46 |
| 2.3.1 蓄能容量 .....            | 46 |
| 2.3.2 型式 .....              | 49 |
| 2.3.3 蓄能介质 .....            | 51 |
| 2.4 在固体中储存显热 .....          | 53 |
| 2.4.1 型式 .....              | 53 |
| 2.4.2 固态蓄热介质 .....          | 54 |
| 2.5 潜热蓄能 .....              | 56 |
| 2.5.1 蓄能容量 .....            | 56 |
| 2.5.2 蓄能介质 .....            | 57 |
| 2.5.3 充能与放能设备 .....         | 61 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 2.6 压力气体蓄能               | 64  |
| 2.7 其它蓄热系统               | 69  |
| 2.7.1 吸收蓄热               | 69  |
| 2.7.2 热化学蓄热              | 74  |
| 2.8 蓄能容量的比较              | 75  |
| 2.8.1 能量密度               | 75  |
| 2.8.2 焓密度                | 77  |
| 2.9 蓄热的效率                | 78  |
| 2.9.1 滞止损失               | 78  |
| 2.9.2 充能和放能损失            | 80  |
| 2.9.3 总蓄能损失              | 84  |
| 第三章 蓄能系统                 | 85  |
| 3.1 发电厂的蓄能系统             | 85  |
| 3.1.1 基本原理               | 85  |
| 3.1.2 蒸汽发电厂中的流量蓄能系统      | 88  |
| 3.1.3 燃气轮机发电厂的流量蓄能系统     | 90  |
| 3.1.4 燃气轮机泵送蓄能系统(压缩空气蓄能) | 90  |
| 3.1.5 气压泵送蓄能             | 92  |
| 3.1.6 热泵蓄能系统             | 92  |
| 3.1.7 汇集式泵送蓄能系统          | 93  |
| 3.2 储存效率                 | 95  |
| 3.2.1 定义                 | 95  |
| 3.2.2 泵送蓄能系统             | 96  |
| 3.2.3 流量蓄能系统             | 97  |
| 3.2.4 给水蓄能               | 99  |
| 3.2.5 蓄能电厂中的损失           | 102 |
| 3.3 充能和放能功率的限制           | 105 |
| 3.3.1 蓄能装置设计的限制          | 105 |
| 3.3.2 蓄能装置组成部分的限制        | 105 |
| 3.3.3 热力方面的限制            | 106 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 3.4 蓄能电厂中的控制和负荷分配.....    | 109        |
| 3.4.1 独立的蓄能装置.....        | 109        |
| 3.4.2 汇集式的蓄能装置.....       | 112        |
| 3.4.3 设有缓冲蓄热装置的蒸汽发电厂..... | 114        |
| <b>第四章 蓄能的容器.....</b>     | <b>116</b> |
| 4.1 容器的形状.....            | 117        |
| 4.1.1 材料的优化利用.....        | 117        |
| 4.1.2 表面积的优化.....         | 119        |
| 4.1.3 限度.....             | 121        |
| 4.1.4 优化概论.....           | 122        |
| 4.2 内部装置.....             | 124        |
| 4.2.1 变压式蓄热器的内部装置.....    | 124        |
| 4.2.2 置换式蓄热器的内部装置.....    | 127        |
| 4.3 焊接压力容器.....           | 125        |
| 4.4 地下式压力容器.....          | 131        |
| 4.4.1 由盐穹窿建成的压缩空气储气器..... | 132        |
| 4.4.2 建在岩洞中的热水置换式蓄热器..... | 133        |
| 4.4.3 建在岩洞中的热水变压式蓄热器..... | 133        |
| 4.4.4 柔性可变形的容器.....       | 138        |
| 4.5 预应力压力容器.....          | 139        |
| 4.5.1 总论.....             | 139        |
| 4.5.2 预应力混凝土压力容器.....     | 141        |
| 4.5.3 预应力铸铁容器.....        | 143        |
| 4.6 非受压容器.....            | 150        |
| 4.6.1 非受压高温容器.....        | 150        |
| 4.6.2 非受压低温容器.....        | 152        |
| <b>第五章 工业中的热能储存 .....</b> | <b>157</b> |
| 5.1 概论.....               | 157        |
| 5.2 固体蓄热.....             | 159        |
| 5.2.1 再生式换热器.....         | 159        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 5.2.2 从热的废气中回收热能.....             | 164        |
| 5.2.3 从固体产品中回收热能.....             | 165        |
| 5.3 热水蓄热.....                     | 169        |
| 5.3.1 喷射泵.....                    | 169        |
| 5.3.2 结合废热锅炉热能的蓄热.....            | 171        |
| 5.3.3 工业上蒸汽的和热水的管网中的蓄热.....       | 172        |
| 5.4 结论.....                       | 179        |
| <b>第六章 房屋采暖和降温中的热能储存 .....</b>    | <b>180</b> |
| 6.1 概论.....                       | 180        |
| 6.2 采暖锅炉.....                     | 181        |
| 6.3 电力采暖.....                     | 184        |
| 6.4 太阳热.....                      | 185        |
| 6.4.1 总论.....                     | 185        |
| 6.4.2 显热蓄热.....                   | 186        |
| 6.4.3 太阳能池.....                   | 187        |
| 6.4.4 潜热蓄热.....                   | 188        |
| 6.4.5 被动系统.....                   | 188        |
| ✓ 6.5 热泵.....                     | 191        |
| 6.5.1 总论.....                     | 191        |
| 6.5.2 缓冲蓄热.....                   | 191        |
| 6.5.3 低温的潜热蓄热器.....               | 192        |
| 6.5.4 低温的地下土层蓄热.....              | 193        |
| 6.5.5 浓度差蓄能.....                  | 194        |
| 6.6 区域采暖.....                     | 196        |
| 6.6.1 总论.....                     | 196        |
| 6.6.2 热力站和蓄热装置的运行方式.....          | 198        |
| 6.6.3 废物焚化站中的热水蓄热.....            | 202        |
| 6.6.4 燃气轮机热电联产动力站中的热水蓄热.....      | 202        |
| 6.6.5 蒸汽热电联产动力站(背压机组)中的热水蓄热 ..... | 205        |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 6.6.6      | 抽汽热电联产动力站中的热水蓄热               | 206        |
| 6.6.7      | 燃气轮机和蒸汽轮机联合的热电联产动力站<br>中的热水蓄热 | 208        |
| 6.6.8      | 区域供热和给水蓄热的联合                  | 209        |
| 6.7        | 大规模的季节性蓄热                     | 209        |
| 6.8        | 结论                            | 211        |
| <b>第七章</b> | <b>具有蓄能装置的发电厂</b>             | <b>212</b> |
| 7.1        | 概论                            | 212        |
| 7.2        | 蒸汽泵送蓄能                        | 213        |
| 7.3        | 燃气轮机发电厂中的蓄能                   | 214        |
| 7.3.1      | 气压泵送蓄能                        | 214        |
| 7.3.2      | 压缩空气蓄能                        | 216        |
| 7.3.3      | 供开式循环燃气轮机快速起动的空气蓄能            | 223        |
| 7.4        | 燃煤发电厂中的蓄热                     | 226        |
| 7.4.1      | 已建的高峰和瞬时备用机组                  | 227        |
| 7.4.2      | 对燃煤发电厂中蓄热的新建议                 | 232        |
| 7.5        | 核电站中的蓄热                       | 240        |
| 7.5.1      | 给水蓄热                          | 242        |
| 7.5.2      | 间接式给水蓄热                       | 242        |
| 7.5.3      | 蒸汽蓄热系统                        | 242        |
| 7.5.4      | 可超负荷的汽轮机与单独的调峰汽轮机的比较          | 243        |
| 7.5.5      | 给水蓄热和蒸汽蓄热的组合式(串级)             | 244        |
| 7.5.6      | 汇集式蒸汽泵送蓄热                     | 246        |
| 7.6        | 太阳能电站中的蓄热                     | 247        |
| 7.6.1      | 概论                            | 247        |
| 7.6.2      | 具有直接式蓄热的单回路循环太阳能蒸汽<br>动力站     | 249        |
| 7.6.3      | 具有间接式蓄热的单回路循环太阳能蒸汽动<br>力站     | 254        |
| 7.6.4      | 双回路循环太阳能蒸汽动力站                 | 255        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.6.5 太阳能开式循环燃气轮机.....      | 256        |
| 7.6.6 太阳能闭式循环燃气轮机.....      | 258        |
| 7.7 结论.....                 | 259        |
| <b>第八章 热能储存应用于交通工具.....</b> | <b>260</b> |
| 8.1 概论.....                 | 260        |
| 8.2 空中和海上运输工具.....          | 261        |
| 8.2.1 热水火箭.....             | 261        |
| 8.2.2 蒸汽弹射器.....            | 262        |
| 8.2.3 鱼雷.....               | 262        |
| 8.3 铁道车辆.....               | 263        |
| 8.3.1 压缩空气机车.....           | 263        |
| 8.3.2 热化学蓄能机车.....          | 266        |
| 8.3.3 蓄汽机车.....             | 266        |
| 8.4 城市交通车.....              | 270        |
| 8.4.1 应用压缩空气蓄能的城市交通车.....   | 270        |
| 8.4.2 应用热化学蓄能的城市交通车.....    | 271        |
| 8.4.3 应用潜热和显热蓄能的城市交通车.....  | 272        |
| 8.5 结论.....                 | 274        |
| <b>参考文献 .....</b>           | <b>275</b> |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 二、带电灭火安全要求 .....          | 273        |
| 三、充油设备和旋转电机的灭火要求 .....    | 275        |
| <b>第八章 电气设备倒闸操作 .....</b> | <b>277</b> |
| 第一节 倒闸操作的基本原则和要求 .....    | 277        |
| 一、倒闸操作的基本原则 .....         | 277        |
| 二、倒闸操作的基本要求 .....         | 279        |
| 第二节 保证倒闸操作安全的措施 .....     | 280        |
| 一、倒闸操作的基本出发点 .....        | 280        |
| 二、倒闸操作的组织措施 .....         | 281        |
| 三、倒闸操作的技术措施 .....         | 281        |
| 第三节 断路器操作的安全技术 .....      | 282        |
| 一、断路器的作用和分类 .....         | 282        |
| 二、高压断路器的主要技术参数 .....      | 283        |
| 三、断路器操作的安全技术 .....        | 284        |
| 第四节 隔离开关的安全操作技术 .....     | 286        |
| 一、隔离开关的作用 .....           | 286        |
| 二、隔离开关的自然灭弧 .....         | 286        |
| 三、隔离开关操作的基本要领 .....       | 286        |
| 四、允许用隔离开关进行操作 .....       | 287        |
| 第五节 变压器和电源的并列操作 .....     | 287        |
| 一、变压器操作的一般原则 .....        | 287        |
| 二、电源的并列操作 .....           | 288        |
| 第六节 母线和电力线路的操作 .....      | 290        |
| 一、母线的操作 .....             | 290        |
| 二、电力线路操作 .....            | 292        |
| 第七节 操作制度 .....            | 294        |
| 一、操作票制度 .....             | 294        |
| 二、操作监护制度 .....            | 296        |
| 第八节 倒闸操作程序 .....          | 297        |
| 一、倒闸操作的顺序 .....           | 297        |
| 二、倒闸操作中注意事项 .....         | 298        |
| 第九节 倒闸操作举例 .....          | 300        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 一、变压器操作实例 .....              | 300        |
| 二、线路的停送电操作举例 .....           | 302        |
| 三、母线操作举例 .....               | 303        |
| <b>第九章 发电机 .....</b>         | <b>306</b> |
| <b>第一节 概述 .....</b>          | <b>306</b> |
| 一、同步发电机的结构 .....             | 306        |
| 二、同步发电机的感应电动势 .....          | 307        |
| 三、发电机的铭牌 .....               | 308        |
| <b>第二节 发电机的起动与检查 .....</b>   | <b>309</b> |
| 一、发电机开机前的检查 .....            | 309        |
| 二、大修后机组的特性试验 .....           | 311        |
| 三、发电机的起动、升压与并列 .....         | 313        |
| 四、发电机的同期并列 .....             | 315        |
| 五、发电机接带负荷及其调整 .....          | 320        |
| <b>第三节 发电机的运行监视与检查 .....</b> | <b>320</b> |
| 一、同步发电机的运行方式 .....           | 320        |
| 二、运行中的发电机的维护和监视 .....        | 324        |
| <b>第四节 发电机的励磁系统 .....</b>    | <b>330</b> |
| 一、直流励磁系统 .....               | 331        |
| 二、他励交流励磁系统 .....             | 332        |
| 三、无刷励磁系统 .....               | 333        |
| 四、自励静止励磁系统 .....             | 334        |
| <b>第五节 发电机的保护 .....</b>      | <b>334</b> |
| 一、发电机的纵联差动保护和横差保护 .....      | 335        |
| 二、发电机定子绕组的接地保护 .....         | 343        |
| 三、发电机转子回路的接地保护 .....         | 345        |
| 四、发电机的失磁保护 .....             | 348        |
| 五、发电机的负序过电流保护 .....          | 349        |
| 六、发电机的过电流及过负载保护 .....        | 349        |
| <b>第六节 继电保护的反事故措施 .....</b>  | <b>349</b> |
| 一、直流系统运行与继电保护 .....          | 350        |
| 二、保护装置操作的基本顺序 .....          | 350        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第十章 变压器</b> .....        | 352 |
| <b>第一节 概述</b> .....         | 352 |
| 一、变压器的结构特征与用途 .....         | 352 |
| 二、变压器的工作原理 .....            | 353 |
| 三、变压器不能用于直流变压 .....         | 355 |
| 四、不平衡电流对变压器的影响 .....        | 356 |
| <b>第二节 变压器的运行与维护</b> .....  | 356 |
| 一、变压器的运行方式 .....            | 356 |
| 二、变压器的维护 .....              | 364 |
| <b>第三节 变压器的故障处理</b> .....   | 367 |
| 一、变压器的电路故障 .....            | 368 |
| 二、变压器的磁路故障 .....            | 368 |
| 三、变压器的异常现象及其原因与对策 .....     | 369 |
| 四、变压器的其他要求 .....            | 372 |
| <b>第四节 变压器的保护</b> .....     | 376 |
| 一、变压器的过电流保护 .....           | 376 |
| 二、变压器的差动保护 .....            | 380 |
| 三、变压器的气体保护 .....            | 382 |
| 四、变压器的过负荷保护 .....           | 384 |
| <b>第五节 特种变压器</b> .....      | 385 |
| 一、互感器 .....                 | 385 |
| 二、高压试验变压器 .....             | 391 |
| 三、调压变压器 .....               | 392 |
| <b>第十一章 高压电器及配电装置</b> ..... | 393 |
| <b>第一节 断路器</b> .....        | 393 |
| 一、高压断路器的选择 .....            | 394 |
| 二、使用操作 .....                | 394 |
| 三、运行与维护 .....               | 398 |
| <b>第二节 隔离开关</b> .....       | 406 |
| 一、使用和操作 .....               | 407 |
| 二、运行与维修 .....               | 408 |
| <b>第三节 熔断器</b> .....        | 410 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 一、种类和选用 .....                   | 410 |
| 二、跌落式熔断器的安装和操作 .....            | 411 |
| 三、常见故障与处理 .....                 | 412 |
| 第四节 负荷开关 .....                  | 413 |
| 一、负荷开关的使用 .....                 | 413 |
| 二、负荷开关的维护 .....                 | 414 |
| 第五节 高压配电装置 .....                | 414 |
| 一、高压配电装置的选择 .....               | 415 |
| 二、高压配电装置的操作 .....               | 416 |
| 三、高压配电装置的运行和维护 .....            | 417 |
| 第六节 联锁装置 .....                  | 420 |
| 一、机械联锁装置 .....                  | 420 |
| 二、电磁联锁装置 .....                  | 421 |
| 第七节 绝缘子 .....                   | 422 |
| 一、母线绝缘子的选择 .....                | 423 |
| 二、高压瓷件的使用 .....                 | 423 |
| 三、高压穿墙套管的安装 .....               | 424 |
| 四、拆接 35kV 以上高压断路器瓷套管上的引接线 ..... | 424 |
| 五、绝缘子的运行与维护 .....               | 424 |
| 第八节 变电所的主接线图 .....              | 425 |
| 一、对变电所主接线图的要求 .....             | 426 |
| 二、主接线图 .....                    | 426 |
| 三、配电所接线图 .....                  | 429 |
| 四、车间变电所接线图 .....                | 430 |
| 第九节 高压配电电路的接线方式 .....           | 430 |
| 一、放射式 .....                     | 430 |
| 二、树干式 .....                     | 431 |
| 三、环式 .....                      | 432 |
| 第十二章 低压电器及配电装置 .....            | 433 |
| 第一节 低压电器安装和使用时的安全要求 .....       | 433 |
| 一、低压电器的安全要求 .....               | 433 |
| 二、安装和使用低压电器的一般原则 .....          | 433 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 三、电器保护箱的安装注意事项 .....     | 434 |
| 第二节 刀开关 .....            | 435 |
| 一、刀开关的选用 .....           | 435 |
| 二、刀开关安装注意事项 .....        | 435 |
| 三、刀开关的运行与维修 .....        | 436 |
| 四、负荷开关的选用及安装使用注意事项 ..... | 436 |
| 五、组合开关的选用与维修 .....       | 438 |
| 六、隔离开关操作注意事项 .....       | 439 |
| 第三节 熔断器 .....            | 440 |
| 一、熔断器选用 .....            | 440 |
| 二、熔断器的使用与维修 .....        | 442 |
| 第四节 断路器 .....            | 445 |
| 一、断路器的选用 .....           | 445 |
| 二、断路器的安装使用 .....         | 447 |
| 三、断路器的运行和常见故障处理 .....    | 449 |
| 第五节 漏电断路器 .....          | 452 |
| 一、漏电断路器的选用 .....         | 452 |
| 二、安装和接线方法 .....          | 455 |
| 三、常见故障与排除 .....          | 456 |
| 第六节 接触器 .....            | 458 |
| 一、接触器的选用 .....           | 458 |
| 二、安装接触器注意事项 .....        | 458 |
| 三、运行与维修 .....            | 459 |
| 第七节 热继电器 .....           | 464 |
| 一、热继电器的选用 .....          | 464 |
| 二、安装、调试及维护 .....         | 465 |
| 三、常见故障与处理 .....          | 466 |
| 第八节 电磁式控制继电器 .....       | 468 |
| 一、选用 .....               | 468 |
| 二、安装使用和维护 .....          | 468 |
| 三、调试 .....               | 469 |
| 第九节 起动机 .....            | 470 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 一、选用 .....               | 470 |
| 二、安装使用注意事项 .....         | 471 |
| 三、常见故障与处理 .....          | 472 |
| <b>第十节 电磁铁</b> .....     | 474 |
| 一、选用 .....               | 474 |
| 二、使用和调整注意事项 .....        | 474 |
| 三、检修注意事项 .....           | 475 |
| 四、常见故障与处理 .....          | 476 |
| <b>第十一节 并联电容器</b> .....  | 477 |
| 一、安装使用注意事项 .....         | 477 |
| 二、操作注意事项 .....           | 479 |
| 三、运行与维修 .....            | 482 |
| <b>第十二节 机床电气设备</b> ..... | 488 |
| 一、概述 .....               | 488 |
| 二、机床电路的设计及注意事项 .....     | 489 |
| 三、机床电气配线 .....           | 489 |
| 四、机床电气设备的检查 .....        | 492 |
| 五、机床电气安全措施 .....         | 493 |
| 六、机床电气故障检查 .....         | 498 |
| <b>第十三节 电梯</b> .....     | 501 |
| 一、安全装置 .....             | 501 |
| 二、电梯的使用和安全操作 .....       | 506 |
| 三、电梯维修安全注意事项 .....       | 512 |
| 四、电梯事故和预防 .....          | 513 |
| 五、电梯常见故障与处理 .....        | 516 |
| <b>第十四节 电源开关联锁</b> ..... | 523 |
| 一、带分励脱扣器的断路器 .....       | 523 |
| 二、电源开关联锁装置 .....         | 524 |
| <b>第十三章 电动机</b> .....    | 526 |
| <b>第一节 三相异步电动机</b> ..... | 526 |
| 一、三相异步电动机的结构和原理 .....    | 526 |
| 二、异步电动机的选择、起动和制动 .....   | 527 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 三、异步电动机的操作运行与维护 .....             | 532 |
| 四、电动机的安全使用 .....                  | 541 |
| 五、常见故障与处理 .....                   | 542 |
| <b>第二节 直流电动机</b> .....            | 549 |
| 一、直流电动机的结构与基本原理 .....             | 549 |
| 二、起动与制动操作 .....                   | 550 |
| 三、运行与维修 .....                     | 552 |
| <b>第三节 同步电动机</b> .....            | 559 |
| 一、运行前的检查 .....                    | 560 |
| 二、起动操作 .....                      | 560 |
| 三、常见故障与处理 .....                   | 560 |
| <b>第四节 交流换向器电动机</b> .....         | 562 |
| 一、运行与检查 .....                     | 562 |
| 二、常见故障与处理 .....                   | 563 |
| <b>第五节 电磁调速三相异步电动机</b> .....      | 567 |
| 一、运行中的检查 .....                    | 567 |
| 二、常见故障与处理 .....                   | 568 |
| <b>第六节 防爆电动机</b> .....            | 569 |
| 一、使用前的检查 .....                    | 569 |
| 二、运行与维护 .....                     | 570 |
| 三、常见故障与处理 .....                   | 570 |
| <b>第七节 制动异步电动机</b> .....          | 572 |
| 一、运行与检查 .....                     | 572 |
| 二、常见故障与处理 .....                   | 572 |
| <b>第八节 潜水三相异步电动机</b> .....        | 574 |
| 一、运行与维护 .....                     | 574 |
| 二、常见故障与处理 .....                   | 574 |
| <b>第九节 牵引电动机</b> .....            | 576 |
| 一、电动机的起动和运行 .....                 | 576 |
| 二、常见故障与处理 .....                   | 577 |
| <b>第十四章 电气线路</b> .....            | 579 |
| <b>第一节 10kV 线路的安装、运行及维护</b> ..... | 579 |